

УДК 691.311: 691.335

Халиуллин М.И. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор

Гайфуллин А.Р. – кандидат технических наук, ассистент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Бетоны на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости с применением промышленных отходов

Аннотация

Разработаны водостойкие и морозостойкие тяжелые и мелкозернистые бетоны марок по прочности от М75 до М300 на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих с применением промышленных отходов – молотого доменного шлака и керамзитовой пыли. Применение для получения низкомарочных бетонов композиционных гипсовых вяжущих на основе местного минерального сырья и промышленных отходов позволяет частично снизить цементоемкость строительной продукции.

Ключевые слова: тяжелые бетоны, мелкозернистые бетоны, молотый доменный шлак, керамзитовая пыль, композиционные гипсовые вяжущие.

Введение

Одной из актуальных проблем дальнейшего устойчивого развития отрасли производства строительных материалов является сокращение энергозатрат при производстве строительной продукции и уменьшение вредных выбросов.

Производство портландцемента, являющегося основным видом минерального вяжущего для производства строительных изделий и конструкций в нашей стране, является весьма энергоемким процессом. Так, для получения 1 тонны портландцемента суммарные затраты топлива и электроэнергии при их переводе в условное топливо составляют в среднем 215 кг.

Помимо этого, производство портландцемента связано со значительными объемами выбрасываемых в атмосферу различных газообразных продуктов, в частности, в результате работы цементных заводов всего мира в окружающую среду поступает свыше 7 % от общего объема углекислого газа, образующегося при промышленной деятельности человечества и вызывающего парниковый эффект.

Для получения 1 тонны другого широко применяемого минерального вяжущего вещества – строительной извести – необходимо затратить около 204 кг условного топлива, при этом выделяется около 223 м³ углекислого газа.

В связи с этим производство основного вяжущего вещества для получения гипсовых строительных материалов и изделий – строительного гипса – отличается сравнительно низкой энергоемкостью и экологичностью. Для производства строительного гипса расход условного топлива в 4,6 раза меньше, чем для производства портландцемента. Химический процесс получения строительного гипса при обжиге гипсового камня связан с выделением только безвредного для окружающей среды водяного пара.

Производство гипсовых строительных материалов, в частности, гипсобетонов отличается более низкими по сравнению с цементными бетонами расходами топлива и энергии (соответственно в 4 и 5 раз), низкими удельными капиталовложениями и металлоемкостью оборудования (соответственно в 2 и 3 раза), в 10-15 раз ускоряется оборачиваемость форм при производстве изделий.

Вместе с тем, в настоящее время широта области применения гипсовых строительных материалов и изделий, в связи с их небольшой прочностью и водостойкостью, существенно уступает аналогичным материалам на основе портландцемента. В основном гипсовые материалы и изделия применяются внутри помещений с сухим и нормальным влажностным режимами.

Одним из наиболее эффективных способов повышения водостойкости и прочности гипсовых строительных материалов являются предложенные в середине XX века В.А. Волженским и другими исследователями композиционные гипсоцементные, гипсошлаковые и гипсоизвестковые вяжущие с пуццолановыми добавками [1-2]. В качестве компонентов таких вяжущих широкое применение находят такие промышленные отходы, как молотый доменный шлак, золы-уноса, стекольный бой, микрокремнезём и др.

В дальнейшем Ферронской А.В., Коровяковым В.Ф. и другими исследователями разрабатывались водостойкие композиционные гипсовые вяжущие [3-8].

В работах, ранее выполненных авторами статьи, были разработаны бесклинкерные композиционные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости (БКГВ) с применением комплексной гидравлической добавки, минеральными компонентами которой являются известь и многотоннажные промышленные отходы – молотый доменный шлак и керамзитовая пыль (композиционное гипсоизвестковокерамзитовое вяжущее (КГИКВ) и композиционное гипсоизвестковокерамзитовошлаковое вяжущее (КГИКШВ)) [4]. Кроме того, при приготовлении вяжущего в его состав вводилась добавка суперпластификатора.

Целью настоящей работы явилась разработка составов и исследование основных физико-технических свойств мелкозернистых и тяжелых гипсобетонов на основе полученных бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости.

Методы и материалы

В качестве мелкого заполнителя для изготовления мелкозернистых и тяжелых гипсобетонов применялся кварцевый песок со следующими характеристиками: насыпная плотность – 1552 кг/м³; истинная плотность – 2650 кг/м³, по гранулометрическому составу песок соответствует требованиям ГОСТ 8736-93, модуль крупности – 2,6; содержание пылевидных и глинистых частиц – 1,2 %; пустотность – 42 %; максимальная крупность зерна – 2,5 мм.

В качестве крупного заполнителя для изготовления тяжелых гипсобетонов применялся карбонатный щебень со следующими характеристиками: насыпная плотность – 1300 кг/м³, истинная плотность – 2500 кг/м³, средняя плотность – 2150 кг/м³, марка щебня по прочности – 300, водопоглощение по массе – 7,5 %, наибольшая крупность – 20 мм, гранулометрический состав: 5-10 мм – 96 %, 10-20 мм – 4 %.

Расчет составов тяжелых и мелкозернистых гипсобетонов на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих различных марок по прочности осуществлялся в соответствии с методикой, приведенной в работе [3].

Показатели пористости искусственного камня, полученного при твердении БКГВ, определялись по ГОСТ 12730.0-12730.4.

Определение величины относительной деформации и изменения прочности образцов искусственного гипсового камня на основе КГИКВ и КГИКШВ производили на образцах – призмах размером 40x40x160 мм, изготовленных из теста вяжущего нормальной густоты в соответствии с ГОСТ 24544.

Для определения основных физико-технических свойств гипсобетонов изготавливались образцы – кубы размером 100x100x100 мм. Определение прочности бетонов осуществлялось по ГОСТ 10180. Определение морозостойкости бетонов осуществлялось базовым методом по ГОСТ 10060.0-10060.1. Определение коэффициента размягчения бетонов в части условий хранения образцов при проведении испытаний осуществлялось по ТУ 21-0284757.

В работе применялись методы рентгенофазового анализа с использованием рентгеновского дифрактометра марки D8 ADVANCE корпорации «Bruker»; комплексного дифференциально-термического анализа с использованием синхронного термоанализатора STA 409 PC компании «NETZSCH»; электронной микроскопии с использованием электронного микроскопа РЭММА-202М ПО «Электрон».

Результаты и обсуждение результатов

Принятые для разработки бетонных смесей вяжущие имеют следующие показатели свойств (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические показатели бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих

Вяжущее	Нормальная густота, %	Сроки схватывания		Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент размягчения
		начало, мин.-с.	конец, мин.-с.		
КГИКВ	34	8-00	12-00	17,1	0,67
КГИКШВ	34	8-10	13-10	31,2	0,96

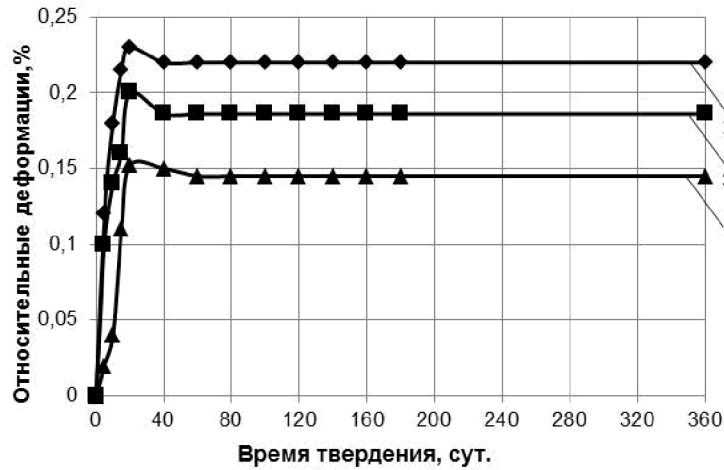
При приготовлении гипсобетонов в состав композиционного гипсового вяжущего вводилась добавка замедлителя схватывания – лимонная кислота производства ЗАО Белгородский завод лимонной кислоты «Цитробел» в количестве 0,05 % по массе.

Введение замедлителя сроков схватывания увеличило сроки схватывания для КГИКВ и КГИКШВ, соответственно, начало схватывания до 52 мин. и 77 мин., а конец схватывания до 76 мин. и 124 мин.

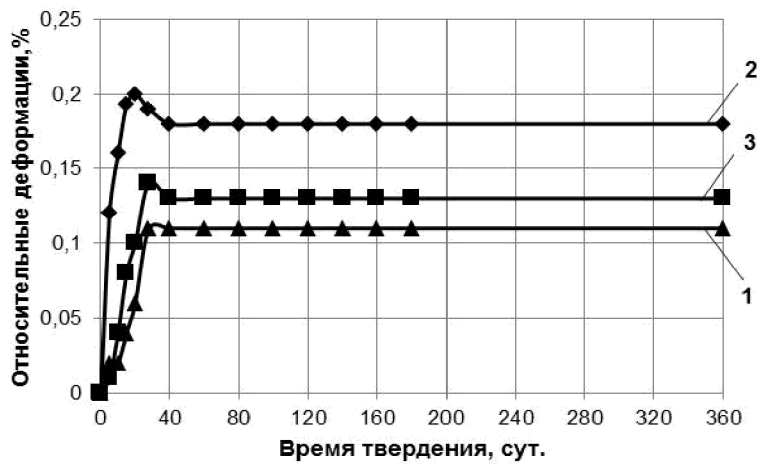
Полученные вяжущие обладают следующими основными физико-техническими свойствами: образцы, испытанные по ТУ 21-0284757-1, обладают прочностью при сжатии в возрасте 28 суток (марками) от 10 до 30 МПа, коэффициентом размягчения от 0,8 до 0,96. Искусственный камень на основе разработанных бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих имеет прочность при сжатии в 1,5-2 выше и коэффициент размягчения в 3 раза выше, по сравнению с бездобавочным строительным гипсом. Проведенные исследования показали, что введение в состав композиционных гипсовых вяжущих оптимальных количеств молотых керамзитовой пыли и гранулированного доменного шлака совместно с добавками извести и суперпластификатора при твердении вяжущих обеспечивает заполнение пор искусственного камня образующимися низкоосновными гидросиликатами кальция, с образованием более плотной и мелкозернистой структуры. По сравнению с образцами, полученными при твердении исходного строительного гипса, у искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ в возрасте 28 суток нормального твердения происходит снижение общей пористости, соответственно, на 10 и 21,5 %, объема открытых пор на 15,4 и 21 %, увеличением на 6,38 и 19,84 % доли закрытых пор в составе полного объема пор, а также уменьшением среднего размера пор при большей однородности их распределения по размерам. Повышенная прочность и водостойкость разработанных БКГВ являются следствием изменения структуры порового пространства в результате образования повышенного объема водостойких новообразований в процессе твердения искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ, что подтверждают данные исследований минералогического состава искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ методами дифференциально-термического анализа, рентгенофазового анализа и электронной микроскопии [4].

Исследования минералогического состава искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ при длительных сроках твердения показали прекращение роста количества этtringита, что является существенным фактором, обеспечивающим долговечность искусственного камня. Данный факт подтверждается результатами исследований изменения линейных деформаций и прочностных показателей искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ при длительном твердении в различных условиях, которые приведены, соответственно, на рис. 1 и 2.

Результаты исследований, приведенные на рис. 1, показывают, что развитие деформаций расширения характерно для начального периода твердения композиционных вяжущих. Через 2-3 суток процесс расширения замедляется и в дальнейшем наблюдается стабилизация деформаций. Для всех рассмотренных условий хранения деформации стабилизируются в возрасте 28-40 суток. Для образцов искусственного камня на основе КГИКВ величина деформации при 12 месяцев твердения в воде составляет 0,22 %, при твердении на воздухе составляет 0,145 %. Для образцов искусственного камня на основе КГИКШВ величина деформации при 12 месяцах твердения в воде 0,18 %, при твердении на воздухе составляет 0,1 %.



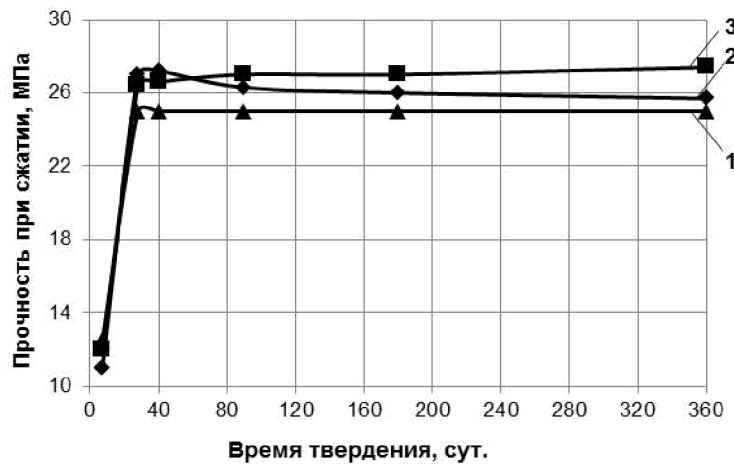
а



б

Рис. 1. Изменение деформаций образцов искусственного камня на основе КГИКВ (а) и КГИКШВ (б) при длительном твердении в различных условиях:
1 – в воздушно-сухих условиях; 2 – в воде; 3 – в нормально-влажных условиях

На рис. 2 приведены результаты изменения прочности при сжатии искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ при длительном твердении в воздушно-сухих условиях, в нормальных условиях (при относительной влажности воздуха 85-90 % и температуре 20-22 °С) и в воде.



а

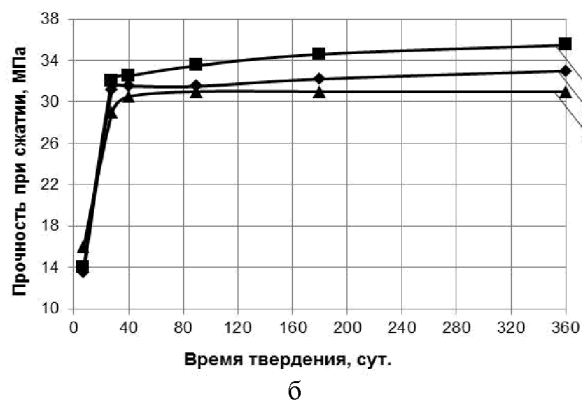


Рис. 2. Изменение прочности образцов искусственного камня на основе КГИКВ (а) и КГИКШВ (б) при длительном твердении в различных условиях:

1 – в воздушно-сухих условиях; 2 – в воде; 3 – в нормально-влажностных условиях

Анализ приведенных на рис. 2 данных, полученных при испытаниях образцов искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ, при длительном твердении в различных условиях показывает следующее.

При хранении образцов искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ в воздушно-сухих условиях рост прочности происходит в период до 28 суток и при дальнейшем твердении не наблюдается. При хранении в нормально-влажностных условиях в течение одного года после интенсивного роста прочности в период до 28 суток наблюдается монотонный медленный рост прочности образцов искусственного камня на основе КГИКВ и КГИКШВ. Рост прочности образцов на основе КГИКВ и КГИКШВ в возрасте 1 года составляет, соответственно, 3,8 и 10,9 % по сравнению с прочностью в возрасте 28 суток. Интенсивный набор прочности на начальных этапах обусловлен твердением гипсового компонента композиционных вяжущих. Дальнейшее упрочнение искусственного камня происходит в результате образования и твердения гидравлических продуктов взаимодействия компонентов композиционных вяжущих. Прочность образцов искусственного камня на основе КГИКВ, твердеющих в воде, в возрасте 1 года незначительно снижается по сравнению с прочностью в возрасте 28 суток, что может объясняться постоянным воздействием воды с растворением части кристаллов гипса. При хранении в воде образцов на основе КГИКШВ в период, соответствующий 40-90 суткам твердения, происходит незначительное понижение прочности, с последующей стабилизацией ее показателей в течение дальнейшего срока твердения. Вероятно, в период, соответствующий 40-90 суткам твердения, процессы ослабления прочности искусственного камня, протекающие вследствие растворения части кристаллов гипса, несколько преобладают над процессами усиления структуры искусственного камня, вследствие образования труднорастворимых продуктов гидравлического твердения при взаимодействии компонентов КГИКШВ. При дальнейшем хранении, очевидно, характер влияния этих процессов на изменения прочности образцов искусственного камня на основе КГИКШВ выравнивается.

Оптимальными условиями набора прочности композиций КГИКВ являются нормально-влажностные условия.

Основные физико-технические свойства разработанных тяжелых и мелкозернистых гипсобетонов на основе БКГВ приведены, соответственно, в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Основные физико-технических свойства тяжелых гипсобетонов на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих различных марок по прочности

Марка вяжущего	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Коэффициент размягчения	Марка бетона по морозостойкости
БКГВ 10	M75	B7,5	0,70	F15
БКГВ 15	M100	B10	0,75	F25
БКГВ 20	M150	B10	0,80	F25
БКГВ 25	M200	B15	0,82	F50
БКГВ 30	M250	B20	0,88	F50

Таблица 3

**Основные физико-технических свойства мелкозернистых гипсобетонов на основе
бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих различных марок по прочности**

Марка вяжущего	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Коэффициент размягчения	Марка бетона по морозостойкости
БКГВ 10	M75	B5	0,75	F15
БКГВ 15	M100	B7,5	0,78	F25
БКГВ 20	M150	B10	0,81	F25
БКГВ 25	M200	B15	0,82	F50
БКГВ 30	M250	B20	0,88	F50

Анализ данных, представленных в табл. 2, 3, показывает возможность получения на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих тяжелых и мелкозернистых бетонов марок по прочности от M75 до M300 и классов по прочности от B7,5 до B20.

Заключение

Таким образом, на основе разработанных бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих могут быть получены тяжелые и мелкозернистые бетоны марок по прочности от M75 до M300 и классов по прочности от B7,5 до B20 с коэффициентом размягчения более 0,8, то есть соответствующим водостойким материалам, марками по морозостойкости F50. Бетоны на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих могут применяться при изготовлении наружных и внутренних конструкций зданий с сухим, нормальным и влажным режимами эксплуатации в соответствии со СНиП 23-02-2003, при условии принятия конструктивных мер защиты от длительного действия влаги.

Список библиографических ссылок

1. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 96 с.
2. Волженский А.В., Роговой М.И., Стамбулко В.И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие материалы и изделия. – М.: Госстройиздат, 1960. – 162 с.
3. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.
4. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков // Строительные материалы, 2012, № 7. – С. 13-16.
5. Хежев Х.А., Пухаренко Ю.В., Хежев Т.А. Фиброгипсобетонные композиты с применением вулканических горных пород // Строительные материалы, 2013, № 11. – С. 20-24.
6. Хазеев Д.Р., Гордина А.Ф., Масва И.С., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф. Влияние техногенных дисперсных отходов на структуру и свойства композитов на основе сульфата кальция // Строительные материалы, 2011, № 6. – С. 6-7.
7. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Асянова В.С., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзито-бетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // Строительные материалы, 2012, № 7. – С. 4-8.
8. Wang Y., Urbonas L., Heinz D. Einfluss von verschiedenen Puzzolanen auf die Eigenschaften von Gips-Zement-Puzzolan-Bindemitteln // Ibausil 18. Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. Weimar: F.A. Figner – Institut für Baustoffkunde, Bauhaus – Universität Weimar, 2012, B. 1. – P. 1-0424-1-0431.

Khaliullin M.I. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Rakhimov R.Z. – doctor of technical science, professor

Gaifullin A.R. – candidate of technical sciences, assistant

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Concrete on the basis without clinker composite gypsum binder the increased water resistance with application of industrial wastes

Resume

Sustainable growth and development of building industry is highly dependent on reduction of energy consumption and pollutant emissions in environment. Expansion of production and application of gypsum building materials is one of the serious problems in securing a success of this task. Particularly, production of gypsum concretes enables to decrease energy and consumption of fuel materials comparing with production of cement concretes. In work changes of linear deformations and strength indicators of an artificial stone on the basis of composite gypsum binder at long curing in various conditions are investigated. Pursuing these benefits and goal a new no-clinker composite gypsum binder was developed. Invented binder has enhanced water resistance and includes complex hydraulic admixture based on finish lime and large-tonnage industrial waste – milled blast-furnace slag and haydite dust. Results of research indicates that invented binder can be used for production of heavy and fine concretes with strength from M75 and up to M300 and softening coefficient above 0,8. Produced concretes will satisfy requirements to waterproof materials and cold resisting property equals to F50.

Keywords: heavy concrete, fine-grained concrete, ground domain slag, haydite dust, composite gypsum binder.

Reference list

1. Bazhenov Yu.M., Korovjakov V.F., Denisov G.A. Technology of dry construction mixes. – M.: Publishers ASV, 2003. – 96 p.
2. Volzhensky A.B, Rogovoi M.I., Stambulko V.I. Gypsumzement and gypsumslag knitting materials and products. – M.: Gosstroyisdat, 1960. – 162 p.
3. Ferronskaja A.V. Gypsum materials and products (production and application). Reference book. – M.: Publishers ASV, 2004. – 488 p.
4. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gayfullin A.R. Composite Gypsum Binders with the Use of Claydite Dust and Blast-Furnace Slags // Building materials, 2012, № 7. – P. 13-16.
5. Kh.A. Khezhev, Yu.V. Pukharenko, T.A. Khezhev Fibrous Gypsum Concrete Composites with the Use of Volcanic Rock // Construction Materials, 2013, № 11. – p. 20-24.
6. Khazeev D.R., Gordina A.F., Maeva I.S., Yakovlev G.I., Burianov A.F. Influence of Anthropogenic Dispersed Waste on Structure and Properties of Composites on the Basis of Calcium Sulphate // Building materials, 2011, № 6. – P. 6-7.
7. Babkov V.V., Latypov V.M., Lomakina L.N., Asyanova V.S., Shigapov R.I. Modified Gypsum Binders of High Water Resistance and Gypsum-Claydite-Concrete Wall Blocks for Low-Rise Housing Construction on their Basis // Building materials, 2012, № 7. – P. 4-8.
8. Wang Y., Urbonas L., Heinz D. Einfluss von verschiedenen Puzzolanen auf die Eigenschaften von Gips-Zement-Puzzolan-Bindemitteln // Ibausil 18. Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. Weimar: F.A. Figner – Institut für Baustoffkunde, Bauhaus – Universität Weimar, 2012, B. 1. – P. 1-0424-1-0431.